

見やすい照明のための基礎研究(その5)

——眼球迷走光についての考察——

中根芳一・土井 正

Fundamental Study on Lighting for Better Seeing(Part5)

——Physical Measures of Stray Light in Steer's Eyes——

YOSHIKAZU NAKANE AND TADASHI DOI

I 目 的

筆者らは、従来から明視照明設計のための基礎データを得る目的で、均一輝度視野面に於ける視認閾値としての背景輝度と視対象物の大きさ及び対比との関係を示す等視力曲線や、不均一な背景輝度面の見え方に及ぼす影

表-1 眼光学系屈折率一覧表

	人	牛
房 水	1.3354	1.3340
角 膜	1.376	1.376
硝子体	1.33537	1.3340
水 晶 体	1.547	1.5610

(日眼全書より)



図-1 測定に用いた牛の眼球例

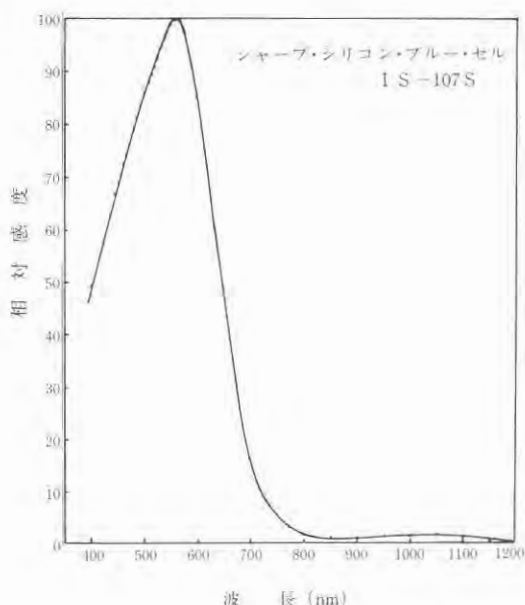


図-2 受光素子(シリコン光電池)の波長感度特性

響、印刷された文字の見え方(活字の大きさ・字画数・文章等とランドルト氏環視標との関係及び読み易さ評価)などについて調査研究し、報告して来た¹⁾。

しかし、不均一な輝度視野に於ける順応輝度や、窓・光源などの高輝度面によるグレアの影響などを解明するためには、眼球での光の散乱状態を把握する必要がある。しかも人間の眼球についての迷走光を測定すべきであるが、これの直接的な測定は不可能に近い。

そこで、眼球の光学的特性が表-1に示すように比較的類似しており、また一例ではあるが、実測結果でも類

似性が確められている²⁾「牛」の眼球を使用して、眼球迷走光の測定を試みた。その結果を報告する。

II 実験方法

大阪市食肉市場で提供して戴いた牛の眼球(図-1の写真参照)を、0℃の生理的食塩水中に入れて運搬・保存し、測定直前に眼科用トレビンを用いて網膜の中心窩部分に直径4mmの穴をあけ、その穴の中心部に図-2のようにほぼ視感度補正されているSBC光電池(シリコン・ブルー・セル)をセットした。SBC光電池の受光角は、人間の目で視力の高い部分が注視点を含む1°の範囲である³⁾といわれていることから、この角度にあわせて1°になるように調節した。測定準備の出来た眼球を図-3に示す暗箱内のターンテーブル上に設置し、拡散板を入れたスライドプロジェクターのレンズ前面に視角1°の枠を設けて光源とした。ターンテーブル上にセットした眼球の状態を図-4に示す。尚、光源の大きさ(視角)の変更は、眼球から光源までの距離を変えることによって行なった。また入射角は光源を固定したまま、眼球をターンテー

表-2 眼球摘出後の経過時間別測定眼球数

	眼球摘出後の経過時間												合計個数
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	27	
測定した眼球個数	2	29	25	22	20	15	6	6	8	6	3	5	147

ルで回転して変化させた。SBC光電池の出力を μA メーターで読みとり、較正曲線を用いて網膜照度を測定した。保存及び測定時間の関係から、測定は毎日2～8眼宛行なった。測定した眼球数を、眼球摘出後の経過時間別に、表-2に示す。

III 測定結果

3. 1 眼球摘出後の経過時間の影響

光源が注視点(光源偏角 $\theta=0^\circ$)のときの、眼球摘出1時間後の網膜中心窩照度(E_{01})を基準として、眼球摘出後の経過時間別に光源偏角と中心窩照度の関係をまとめると、図-5のようになる。時間経過につれて光源が注視点近くにある場合の中心窩照度は減少していくが、光源が注視点から5°以上離れている場合の中心窩照度は

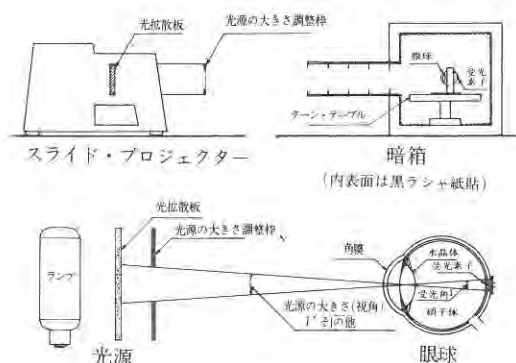


図-3 実験装置及びその光学系説明図

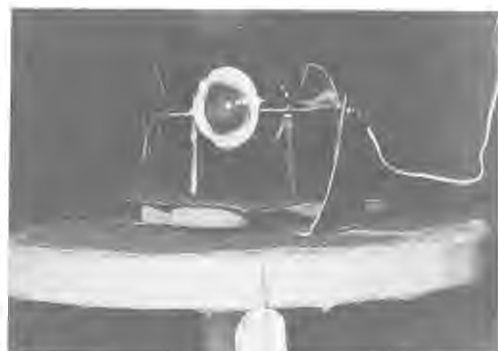


図-4 牛の眼球をターンテーブル上にセットした状態

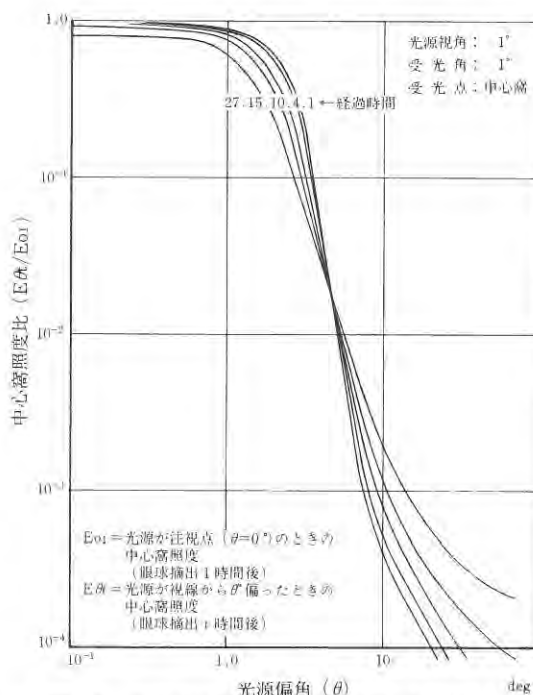


図-5 眼球摘出後の経過時間が眼の光学特性に及ぼす影響

増大している。光源が注視点にある時の中心窩照度で、眼球摘出1時間後を100%として、光の透過率と時間経過

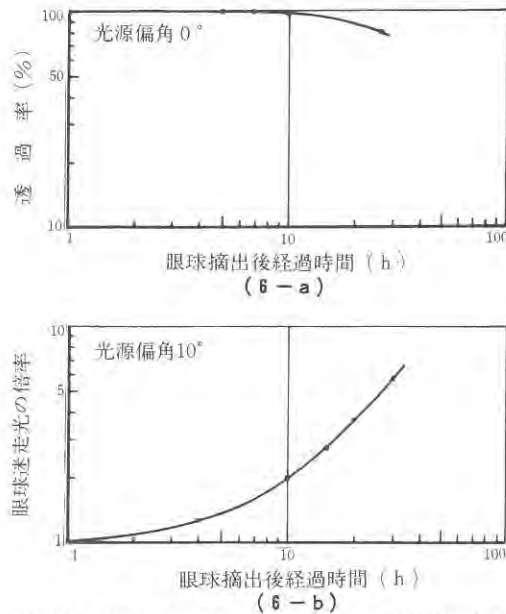


図-6 眼球摘出後の時間経過による光学特性の変化 (受光点=中心窩)

の関係を求めると、図-6aのようになり、5時間以内では透過率の変化もほぼ無に等しく、10時間で5%減、27時間経過で20%減であった。また光源の偏角（光源が視線から偏った角度）が10°の場合、眼球迷走光の中心窩への影響を時間的に調べると、図-6bに示すようになり、27時間後には摘出1時間後の値の約5倍にもなる。結局時間経過の影響は、眼球摘出後10時間まではそれ程大きくなく、特に、5時間以内では無視出来る程度の量であるといえる。

3.2 光源の偏角と網膜中心窩照度の関係

そこで、光源の視線からの偏角と中心窩照度の関係を眼球摘出後8時間以内（平均経過時間4.0時間）の測定結果についてまとめたのが図-7である。光源偏角1°以下の範囲では、光源からの直接光も受光素子に入っているが、1°以上の範囲は眼球迷走光のみによるものである。眼球迷走光の強さは、光源偏角10°以下と10°以上で異なり、光源が視線に近づくと、著るしく迷走光が強くなっている。測定値のばらつきも比較的小さいことから個体差も少ないものと思われる。

3.3 瞳孔径と中心窩照度の関係

普通、我々が物を見る場合、明るさに応じて虹彩が開閉し、入射光量を加減している。しかし摘出した眼球の

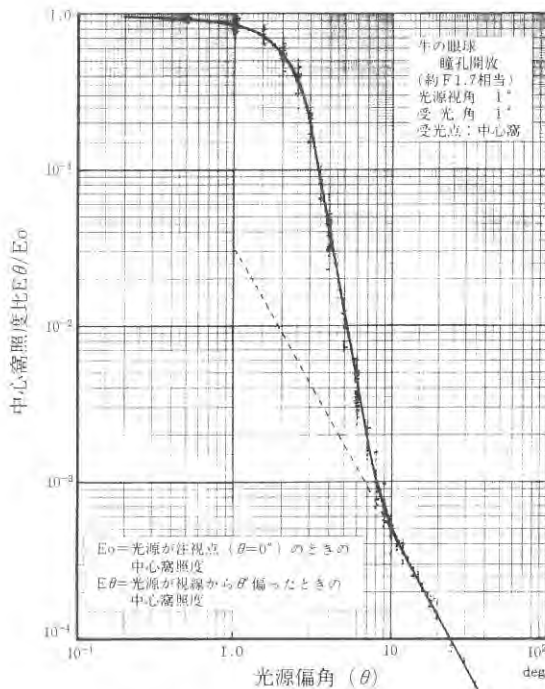


図-7 光源の視線からの偏りが中心窩網膜照度に及ぼす影響

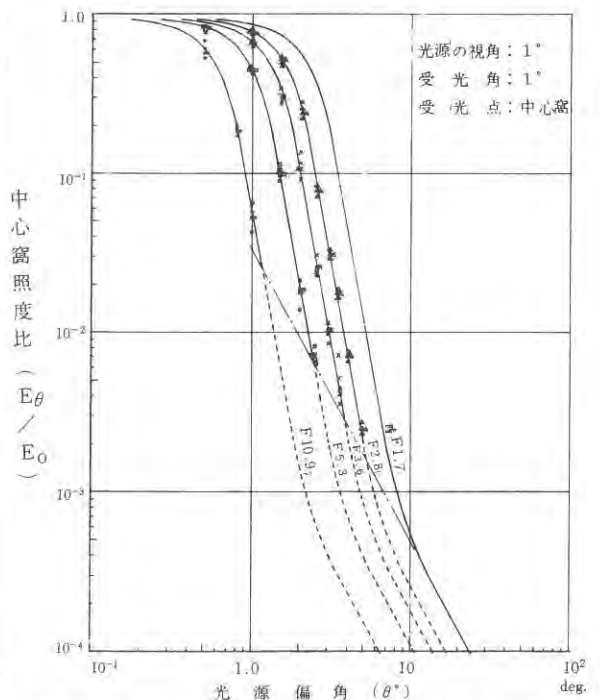


図-8 光源偏角と中心窩照度の関係に及ぼす瞳孔径の影響

瞳孔は開いたままであるので、虹彩の開閉による眼球迷走光への影響を調べるために、虹彩の代りに眼の直前に絞りを設置して測定した。その結果を図-8に示す。絞られた場合、明らかに眼球迷走光は光源の周辺部に限られて来ており、光源偏角の小さな方へほぼ平行移動した傾向を示している。ただ測定値は図中にプロットで示した範囲しかなく、絞った場合、眼球へ入って来る光が少なくなるため、光源偏角が少し大きくなると受光素子の暗電流の影響を受けて測定不可能になった。故に点線部分は一応外挿したものである。

3.4 光源の大きさと中心窩照度の関係

光源の大きさが眼球迷走光の強さに及ぼす影響について調べるために、光源と眼球との距離を変化させて、光源の大きさが視角 $0.5^\circ, 1^\circ, 2^\circ, 4^\circ, 8^\circ$ の5種類の状態での光源偏角と中心窩照度の関係を測定し、比較した。また内表面を白（ほぼ完全拡散）又は黒（ほぼ完全吸収）に仕上げた調光室の正面に黒又は白の円形視標（直径 $2^\circ \sim 40^\circ$ ）を設置した状態についても測定した。それぞれの光源の大きさ毎に各14眼宛測定した結果を平均して示したのが図-9である。光源の大きさが迷走光の割合に及ぼす影響は、瞳孔径が変化した時の影響ほどは大きくなく、比較的少ないといえる。しかし中心窩照度自体は、光源

の大きさによってかなり変化する。

IV 考 察

4.1 眼球摘出後の経過時間の影響についての考察

BOYNTONらは猫の眼を用いて眼球摘出後の経過時間が眼球迷走光に及ぼす影響を調べて、中心窩照度は時間経過とともに急激に増加し、特に光源偏角が $7^\circ \sim 8^\circ$ の時に最も著しいと述べている⁴⁾。しかし、このBOYNTONらの結果は筆者らの結果（摘出後10時間以内では著しい影響はない）と相違している。この差違の原因として考えられることは、BOYNTONの測定が同一の眼球について経時的に行われている点で、測定のために網膜に穴をあけてセットされた眼が急激に傷むのは当然ともいえる。筆者らは完全な状態で測定時まで 0°C の生理的食塩水の中に保存した眼球を使用しており、時間経過を調べる場合も、それぞれの経過時間保存した新しい眼球を用いて測定したため変化が少なかったものと思われる。更にBOYNTONの測定では、詳細が論文に記述されていないため確かではないが、セットした状態で長時間置かれた眼球の表面が乾燥し、角膜が濁ったことも考えられる。

いずれにせよ、今回の測定結果から言えば、保存に注意すれば、眼球摘出後10時間以内では眼球迷走光の測定に支障はなく、データとしても充分信頼出来ると考える。

4.2 視線に対する光源の偏りが網膜の中心窩照度に及ぼす影響についての考察

図-7で光源偏角が 10° を境にして眼球迷走光の現われ方にかなりの差違が認められる。即ち、光源が視線に近い時と離れた時とで中心窩照度に影響を与える眼球迷走光の発生の原因が異なるものと考えられる。光源偏角 10° 以内で、特に視線近傍で著しく、離れると急激に減衰するような迷走光が出来る原因としては、図-10に示するような眼球光学系の周辺部の歪（角膜と水晶体の周辺部、主として角膜周辺と思われる）が考えられる。人間の眼でも視力が高いのは注視点を含む 1° ぐらいの範囲といわれており、その原因としては網膜上での錐状体細胞の分布によることが大きいとみられているが、眼球光学系周辺

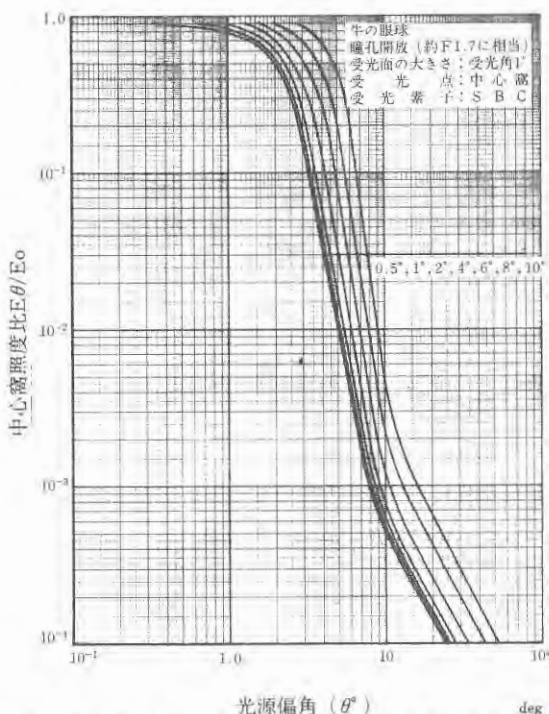


図-9 中心窩照度比と光源偏角の関係に及ぼす光源の大きさの影響

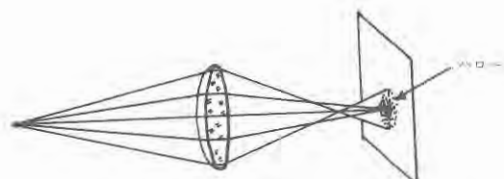


図-10 レンズの球面収差の模式図

部の歪も無視できないのではないかと思う。このことは、図-8に於て眼球直前に絞りを入れた場合、眼球周辺部を通る光線がカットされて、著しく眼球迷走光が減少したことで説明される。

次に、視線から光源が離れている場合にみられる眼球迷走光の状態を観察すると、光源偏角に比例して、偏角が大きくなる程一定割合で減少することがわかる。このような迷走光が現われる原因としては、眼球表面（角膜表面）及び眼球内部（水晶体、硝子体、網膜表面など）での光の散乱が考えられる。しかし、網膜表面での反射光の影響については、眼球側面の網膜に穴をあけて、そ

の部分に当たった光線を外に逃がしてみても中心窩照度に変化がなかったことから無視できるといえる。また時間経過の測定をしている時の肉眼での観察でも、角膜の白濁が最も顕著であったことも考えあわせると、光源偏角が大きい場合の眼球迷走光の主原因は角膜表面での散乱光と思われる。

4.3 眼球迷走光の原因についての写真レンズを利用した考察

「4.2 視線に対する光源の偏りが網膜の中心窩照度に及ぼす影響についての考察」の中で眼球迷走光の原因について考察したが、この考察が正しいかどうか確認する目的で、写真レンズの前にセンターフォーカスレンズを重ねて周辺透過光の焦点をずらし、更に透明ビニールフィルムを重ねて全面に少し光散乱を起こさせて測定してみた。その結果を図-11に示す。写真レンズのみでは、よく補正されているため、受光部に光源からの直接光が入らなくなる光源偏角1°あたりから焦点面の中心部照度は急激に低下している。透明ビニールフィルムを写真レンズに重ねてや、光散乱を起こさせると、光源が受光部に入らなくなる光源偏角1°以上の範囲で散乱光が著しく増してくる。センターフォーカスレンズを写真レンズを重ねた場合には光源偏角の小さな所で、焦点面の中心部照度の増加が著しく現われた。透明ビニールとセンターフォーカスレンズを写真レンズに重ねると、予想通り眼球網膜面の中心窩照度の光源偏角による変化に近い焦点面中心部照度を得られた。しかしどちらかといえば、牛の眼球の場合よりも光源偏角が10°以内の部分での迷走光が少ないことから、牛の眼の光学系の周辺部は、今回用いたセンターフォーカスレンズを重ねた時の写真レンズ以上に歪が著しいと言える。

結局、眼球内の迷走光の原因として、「眼球光学系周辺部の歪と角膜表面での光の散乱によるものであろう」と考察したのが正しかったこと、また実際の眼に近い光学特性を持ったレンズ系を造ることが可能であることを証明出来たと思う。人間の眼に近い特性を持ったレンズ系が出来れば、グレアの解明などに有効であろう。

4.4 瞳孔径が中心窩照度に及ぼす影響についての考察

図-8に於て、瞳孔径が絞られた場合、眼球迷走光は著しく減少し、光源偏角の小さな方へほぼ平行移動したような関係を示している。瞳孔径開放状態での光源偏角と中心窩照度比の関係を基準として、瞳孔径が絞られたとき、開放時の値に等しい中心窩照度比が現われる光源偏角と瞳孔絞値の関係を図示したものが図-12である。これらのことから、背景輝度が高くなる程視力が高くなる原因の1つとして、明るいと瞳孔径が小さくなり、眼

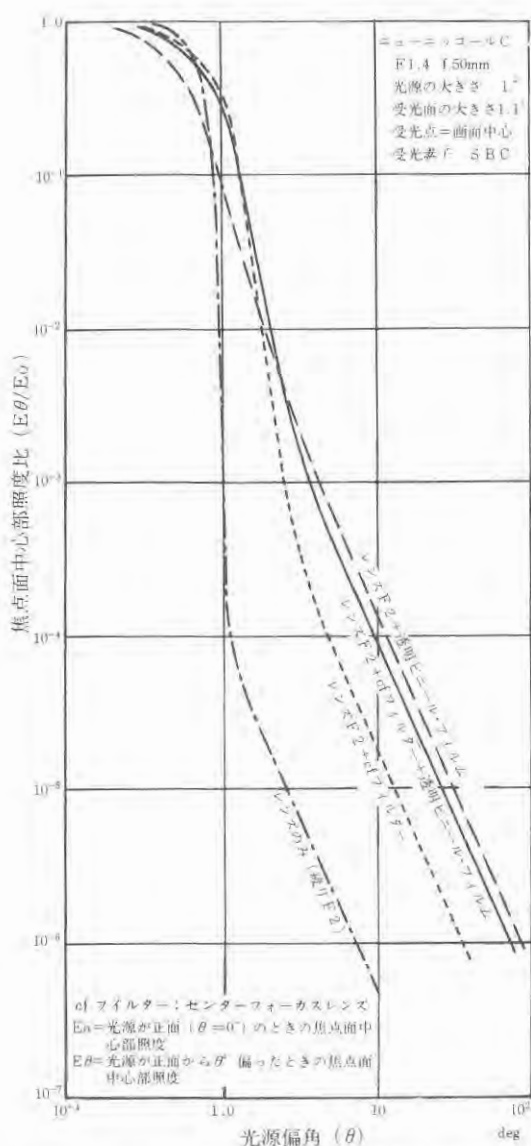


図-11 写真レンズを使用しでの眼球迷走光の模型実験

球迷走光が減じて視対象物の対比が高くなり見易くなる
ことが考えられる。

また、視対象物があまり明るくない場合、虹彩は充分
開いているが、他の光源などが視線に近づいて来て中心
窩照度が高くなると瞳孔径が絞られて来るために、このよ
うな場合の中心窩照度の光源偏角による変化は、図-13
のようになるのではないかと考えられる。むしろ実際の

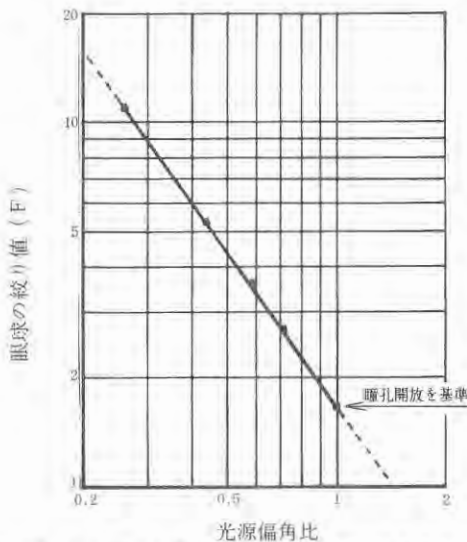


図-12 絞り開放を基準として同等の眼球迷走光が
現われる光源偏角と眼球絞り値の関係

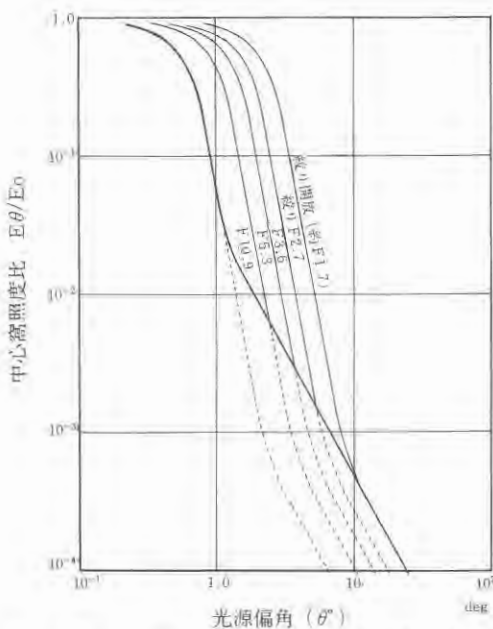


図-13 瞳孔の調節を伴った場合の光源偏角と中心窩照
度比の関係予想

視環境での光源などの影響は、図-13の状態に近いもの
と予想される。

4.5 光源の大きさが中心窩照度に及ぼす影響について の考察

大きな光源による網膜中心窩照度は、理論的にはその
光源を小さな部分に分割し、各部分によって得られる中
心窩照度を加算したものになる。そこで、今回測定した
結果に於てこの点を検討するために、光源の大きさが1°
のものを基準にして、図-14のように2°, 4°, 8°の光源を分
割し、各部分からの中心窩照度を1°の結果から求め、実
測結果と比較してみた。また光源偏角0°の場合について
は、光源直径が2°~40°の範囲に亘って計算した。以下
に計算の手順を少し詳しく説明する。

視角2°の大きさの光源の立体角は、1°の大きさの光源
の4倍となる。しかし2°の光源の中心部分1°の範囲は、
1°の大きさの光源そのものに相当する。故に、2°の光源
の中心部1°の範囲によって起こされる中心窩照度比は図
-7、図-9の光源の大きさ1°での値がそのまま適用出来
る。次に2°の光源で中心部1°を除いた周辺部の大き
きは1°の光源の大きさの3倍となり、3ユニットに分割出
来る。そして各ユニットの中心は、2°の光源自体の中心
線から0.75°偏った位置にある。そこで、この3ユニット
の光源部分に依存する中心窩照度比は、2°の光源自体
の中心が視線上(光源偏角0°)にある場合を例にとると、
2°の光源の周辺部3ユニットの中心は光源偏角0.75°に
在ることになり、周辺部の各ユニット毎に1°の光源で求
めた光源偏角0.75°での中心窩照度比が適用できるわけで、
合計はその3倍として求められる。

結局、2°の光源によって起る中心窩網膜照度比は、中
心部1°範囲での照度比に、周辺部3ユニットでの照度比
を加えたもので定義出来る。1°の大きさの光源が偏角0°
のときの中心窩照度比(E_{θ}/E_0)は1.00であり、これに
1°の大きさの光源の偏角0.75°での $E_{\theta}/E_0 = 0.88$ の3倍、
即ち2.64を加えた3.64が、2°の大きさの光源が視線上に
あったときの中心窩照度の、視角1°の光源が視線上にあ
るときの中心窩照度に対する比ということになる。1°の
光源が視線上にあったときの中心窩照度の実測値では
4100lxが得られており、これを3.64倍したのが、視角2°
の光源が視線上に在るときの中心窩照度ということであり、
計算上 $4100 \times 3.64 = 14924$ (lx)となる。これは、2°
の光源が視線上に在った場合の中心窩照度の実測値の
15000lxに近いことがわかる。この例から中心窩照度は
光源の各部分によって起る中心窩照度を加算することに
よって求まることが実証される。

図-14に示す他の条件についても、これと同様にして

求めることが出来る。結果は図-14の中に示したが、それぞれ非常に近い値となっているといえる。光源の大きさの極く限られた範囲でしか検討していないが、一応眼球迷走光の加算は可能であると考えられる。

4.6 眼球迷走光に関する従来の研究と本測定結果との比較

図-15にBOYNTON, ENOCH & BUSH, FRY & ALPERNら⁵⁾の実験結果を示す。BOYNTONらの結

果では眼球中心窩照度比がいずれの光源偏角でも、筆者らの結果より高くなっている。これはBOYNTONが使った装置の光源の大きさが4.76°, 受光部の大きさが約4°といずれも大きいためと考えられる。将来照明設計に役立てることを考えると、光源、受光角とも約4°と大きいのは人間の中心窩の大きさからいって適当でない。

FRYらの両眼比較による光幕輝度比は筆者の絞りF5.6の測定結果に近いが、先に述べたように明るさによって

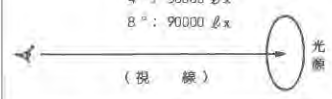
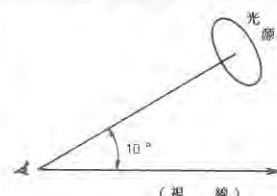
光源偏角 0°	光源偏角 5°	光源偏角 10°
<p>光源が視線にあるときの 中心窩照度の実測値 光源の大きさ 1°: 4100 lx 2°: 15000 lx 4°: 50000 lx 8°: 90000 lx</p>  <p>(視線)</p>	 <p>(視線)</p>	 <p>(視線)</p>
<p>中心窩照度比の合計</p> <p>1°の光源の各光源偏角における中心窩照度比</p> <p>1°の光源の立体角を基準にしたときの、各光源偏角毎の立体角倍率</p> <p>各光源を視角1°に細分化したときの、光源各部の視線からの偏り角</p>	<p>中心窩照度比の合計</p> <p>1°の光源の各光源偏角における中心窩照度比</p> <p>1°の光源の立体角を基準にしたときの、各光源偏角毎の立体角倍率</p> <p>各光源を視角1°に細分化したときの、光源各部の視線からの偏り角</p>	<p>中心窩照度比の合計</p> <p>1°の光源の各光源偏角における中心窩照度比</p> <p>1°の光源の立体角を基準にしたときの、各光源偏角毎の立体角倍率</p> <p>各光源を視角1°に細分化したときの、光源各部の視線からの偏り角</p>
<p>光源の大きさ 2°</p> <p>0° : 1 × 1.00 0.75° : 3 × 0.88 } 3.64</p> <p>大きさ2°の光源の実測中心窩照度 15000 lx 計算による中心窩照度 3.64 × 4100 = 14924 lx 実測による中心窩照度 1.00 × 15000 = 15000 lx</p>	<p>大きさ2° 偏角5°の光源の実測中心窩照度比 0.016</p> <p>4.5° : 2 × 0.022 5.5° : 2 × 0.007 } 0.058</p> <p>計算による中心窩照度 0.058 × 4100 = 237.80 lx 実測による中心窩照度 0.016 × 15000 = 240.00 lx</p>	<p>大きさ2° 偏角10°の光源の実測中心窩照度比 0.0006</p> <p>9.5° : 2 × 0.00060 10.5° : 2 × 0.00048 } 0.008645</p> <p>計算による中心窩照度 0.00216 × 4100 = 8.8560 lx 実測による中心窩照度 0.0006 × 15000 = 9.0000 lx</p>
<p>光源の大きさ 4°</p> <p>0° : 1 × 1.00 0.75° : 3 × 0.88 1.5° : 12 × 0.72 } 12.28</p> <p>大きさ4°の光源の実測中心窩照度 50000 lx 計算による中心窩照度 12.28 × 4100 = 50348 lx 実測による中心窩照度 1.00 × 50000 = 50000 lx</p>	<p>大きさ4° 偏角5°の光源の実測中心窩照度比 0.033</p> <p>3.5° : 5.0 × 0.088 4.5° : 4.2 × 0.022 5.5° : 5.2 × 0.007 6.5° : 3.6 × 0.003 } 0.4036</p> <p>計算による中心窩照度 0.4036 × 4100 = 1654.8 lx 実測による中心窩照度 0.033 × 50000 = 1650.0 lx</p>	<p>大きさ4° 偏角10°の光源の実測中心窩照度比 0.00075</p> <p>8.5° : 2.7 × 0.00080 9.5° : 4.6 × 0.00060 10.5° : 4.6 × 0.00048 11.5° : 4.1 × 0.00037 } 0.008645</p> <p>計算による中心窩照度 0.008645 × 4100 = 35.445 lx 実測による中心窩照度 0.00075 × 50000 = 37.500 lx</p>
<p>光源の大きさ 8°</p> <p>0° : 1 × 1.000 0.75° : 3 × 0.880 1.5° : 12 × 0.720 2.5° : 20 × 0.570 3.5° : 28 × 0.088 } 22.144</p> <p>大きさ8°の光源の実測中心窩照度 90000 lx 計算による中心窩照度 22.144 × 4100 = 90790 lx 実測による中心窩照度 1.00 × 90000 = 90000 lx</p>	<p>大きさ8° 偏角5°の光源の実測中心窩照度比 0.22</p> <p>1.5° : 2.8 × 0.72000 2.5° : 6.0 × 0.37000 3.5° : 7.5 × 0.08800 4.5° : 9.5 × 0.02200 5.5° : 10.9 × 0.00700 6.5° : 10.9 × 0.00500 7.5° : 9.9 × 0.00140 8.5° : 6.5 × 0.00083 } 5.233</p> <p>計算による中心窩照度 5.233 × 4100 = 21455 lx 実測による中心窩照度 0.22 × 90000 = 19800 lx</p>	<p>大きさ8° 偏角10°の光源の実測中心窩照度比 0.0025</p> <p>6.5° : 3.8 × 0.00300 7.5° : 6.2 × 0.00140 8.5° : 8.1 × 0.00080 9.5° : 9.0 × 0.00060 10.5° : 10.4 × 0.00048 11.5° : 10.9 × 0.00037 12.5° : 9.0 × 0.00035 13.5° : 6.6 × 0.00029 } 0.0459</p> <p>計算による中心窩照度 0.0459 × 4100 = 188.19 lx 実測による中心窩照度 0.0025 × 90000 = 225.00 lx</p>

図-14 各種光源の大きさ、光源偏角での中心窩照度についての計算値と実測値の比較例

瞳孔径が変化することを考慮して図-13と比較すると、筆者の結果よりもいずれの光源偏角でも小さくなっている。この原因の一つとして順応のずれが考えられる。即ち、FRYらの実験は両眼比較法で行われて居り、左右の眼の順応が完全に独立して行われ、また明るさの知覚も左右の眼について完全に独立して行なえたかどうかには、はなはだ疑問がある。しかし、この結果はSTILESらの「錐体細胞には角特性があるため、実際に存在している迷走光を過小評価する」という説には一致する。

4.7 光源からの直接光と眼球迷走光についての検討

網膜の中心窩で測定した照度の、光源偏角 1° 以内の部

分には、光源からの光が直接入った、即ち、光源の映像による明るさと、眼球迷走光の明るさが入混っている。

ところで光源の映像による光の量は、光源の明るさが均一で、受光素子の感度が全受光面均一とすれば、図-16に示すように両者の面積が重なった割合に比例する。そこで、この両者の面積が重なる割合を光源の偏角との関係で示すと、光源視角、受光角とも 1° の場合、

$$S\theta/S_0 = \frac{2}{\pi} \left\{ \frac{\pi}{2} - \frac{\theta}{2} \sqrt{1 - \left(\frac{\theta}{2}\right)^2} - \sin^{-1} \frac{\theta}{2} \right\} \cdots (1)$$

S_0 : 受光部全面に光源が重なったときの面積

$S\theta$: 光源が視線から θ だけ偏ったとき光源と受光部が重なる面積

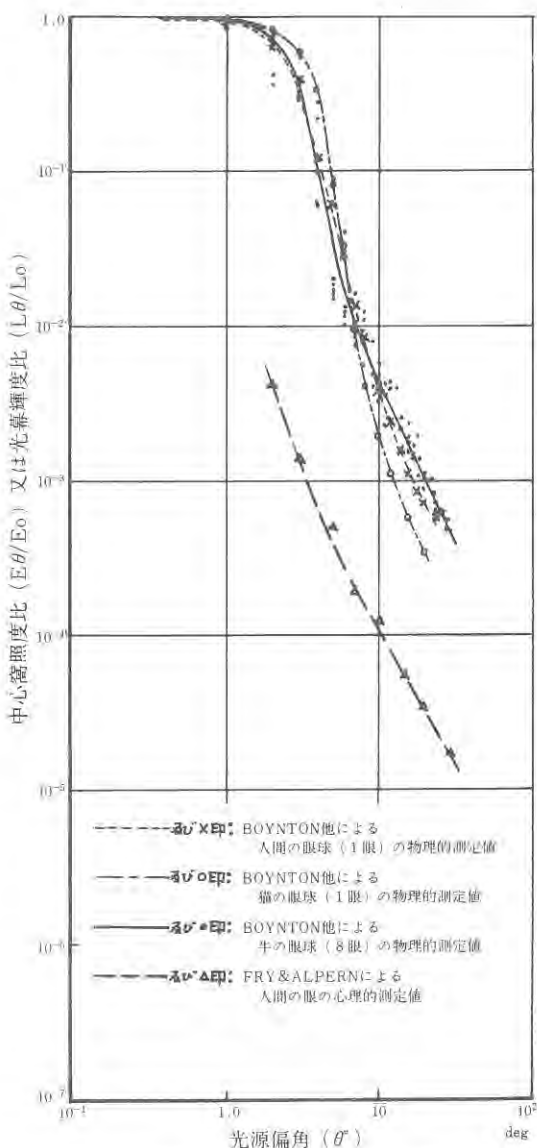


図-15 眼球迷走光に関連する従来の研究結果

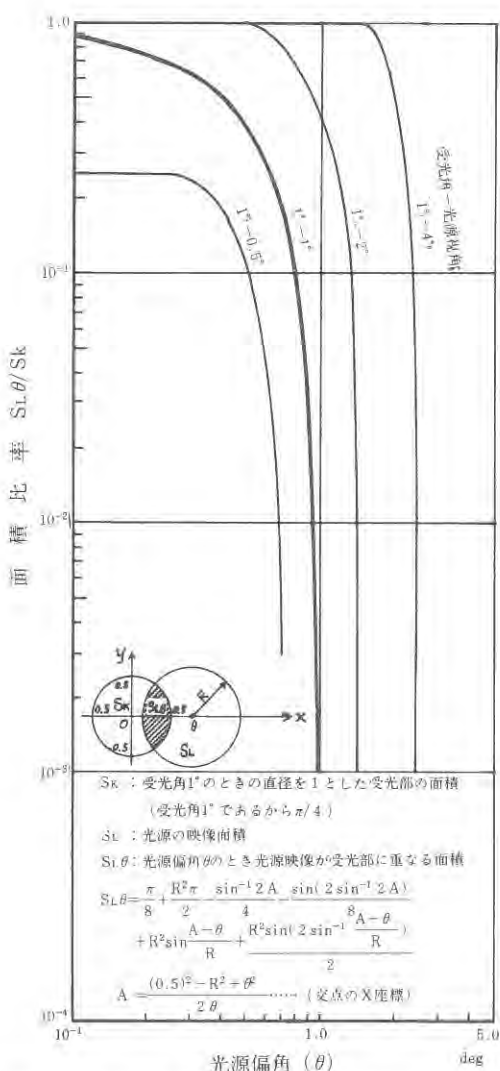


図-16 受光素子面に占める光源の映像面積比の光源偏角による変化

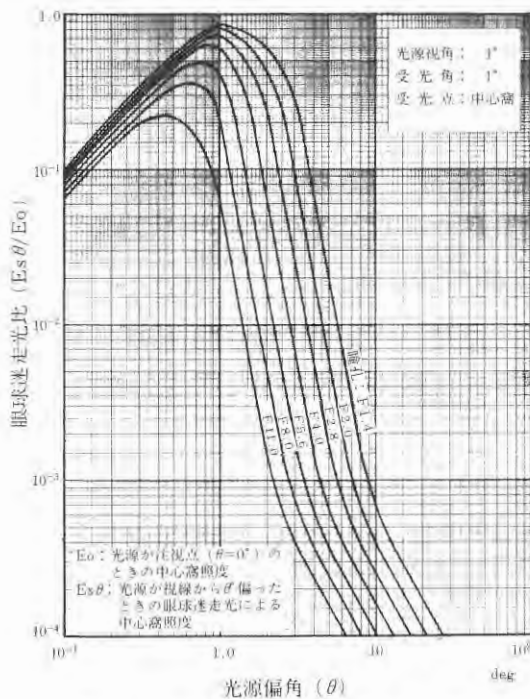


図-17 眼球迷走光量に及ぼす瞳孔径の影響

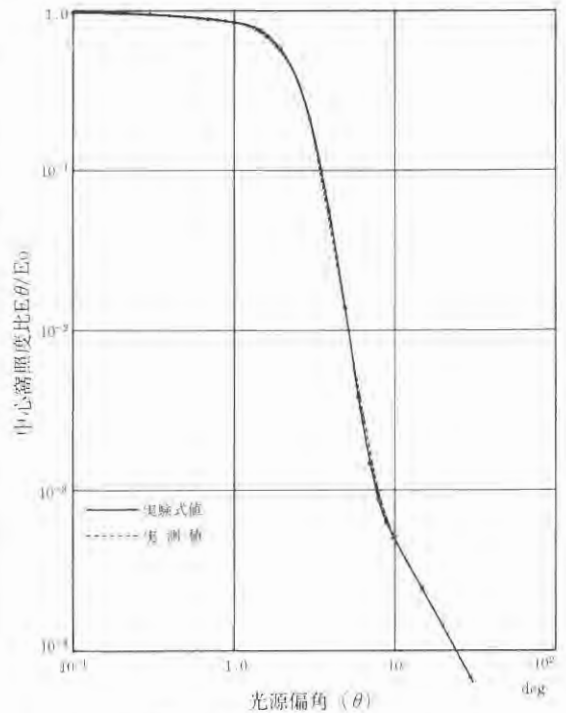


図-18 光源偏角と中心窩照度比の関係を示す実験式値と実測値の比較

これを図示すると、図-16の曲線ようになる。

先に求めた網膜中心窩照度比から図-16の面積比を差し引いたものが眼球迷走光と看做することが出来るわけである。

この眼球迷走光比と光源偏角の関係を図-12の結果を用いて等間隔値について図示したのが、図-17である。眼球での迷走光は光源の周辺附近で急激に増加するのがよくわかる。また瞳孔が絞られると眼球迷走光が減少する様子も顕著に現われている。

4.8 網膜中心窩照度比と光源偏角の関係についての実験式

網膜中心窩照度比と光源偏角の関係を表わす実験式を考えてみると

$$\theta > 1^\circ \text{ のとき } E\theta/E_0 = \exp \{ (-1.1\theta)^3 - 0.25 + 0.032\theta^{1.8} \} \quad (2)$$

$$\theta \leq 1^\circ \text{ のとき } E\theta/E_0 = \exp(-0.17\theta) \quad \dots\dots\dots (3)$$

但し E_0 : 光源が注視点 ($\theta=0^\circ$) のときの網膜中心窩照度 (lx)
 $E\theta$: 光源が視線から θ 偏ったときの網膜中心窩照度 (lx)
 θ : 光源が視線から偏っている角度 (度)

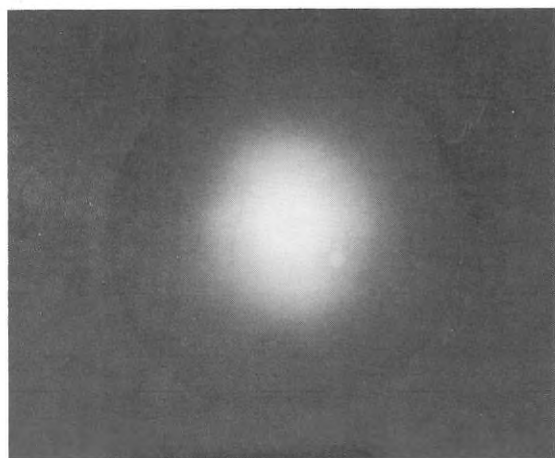
となる。(2), (3)式で求めた結果を図-18に示す。 $\theta \geq 1^\circ$ のときの網膜中心窩照度比は、光源が視線にあるときの中心窩照度に対する各光源偏角での眼球迷走光による中

心窩照度の比を表わしているが、 $\theta < 1^\circ$ では、光源からの直接光成分も含まれたものである。 θ が 1° より小さい場合も、(1)式で示される直接光成分を(3)式から差し引けば、光線が視線にあるときの中心窩照度に対する眼球迷走光による中心窩照度の比を示すことになる。

V まとめ

以上の結果をまとめると以下ようになる。

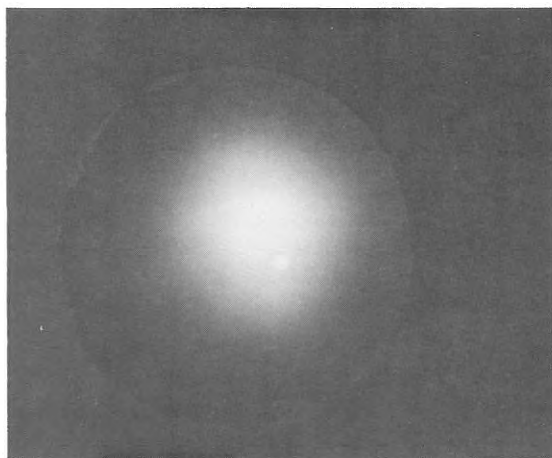
- 1) 眼球摘出後の経過時間が眼球迷走光の量に与える影響は、眼球を 0°C の生理的食塩水中に保存しておいた場合、10時間以内特に5時間以内では無視出来る程度である。(図-5, ~図-6)
- 2) 視線に対する光源の偏りと、眼球迷走光の関係は、視線近く (視線より 10° 以内) に光源があるときに著るしい。(図-7)
- 3) 眼球迷走光の原因としては、光源が視線から 10° 以内の場合は、眼球光学系の歪、視線から 10° 以上偏っている場合は、眼球の角膜表面での散乱が主であると考察された。
- 4) 市販の写真レンズに周辺歪とわずかな散乱を起こさせる様な光学系を附加すると、眼球の場合と同様な迷走光が確認された。このことから、グレア・見え方等の



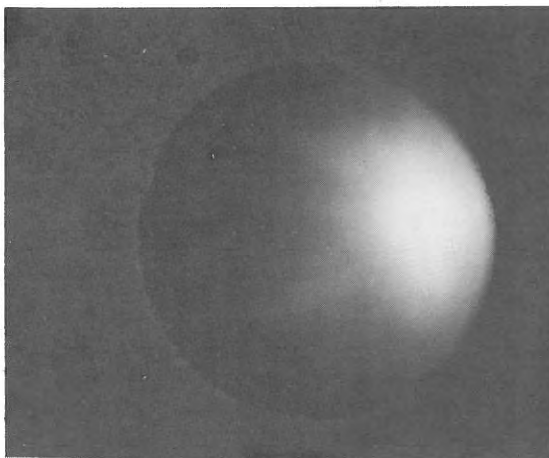
(光源偏角 0°)



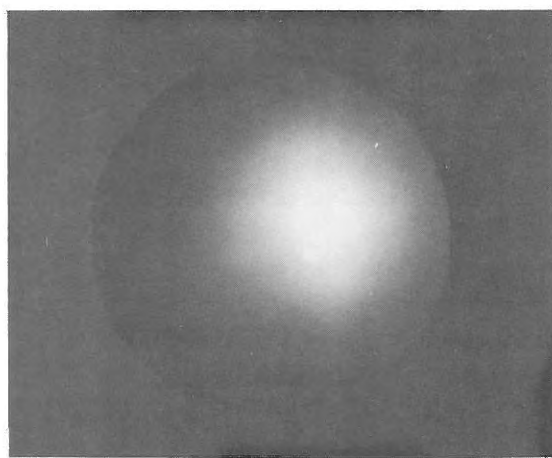
(光源偏角 3°)



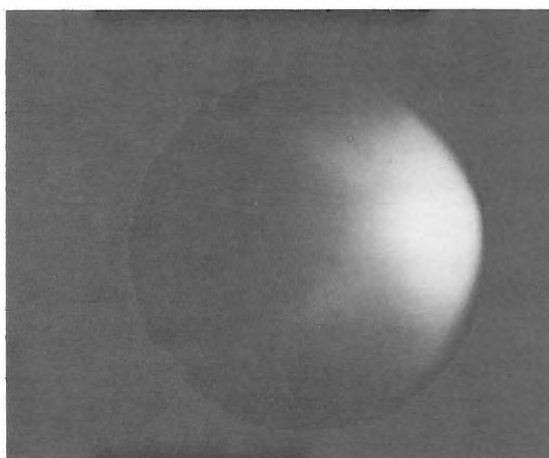
(光源偏角 1°)



(光源偏角 4°)



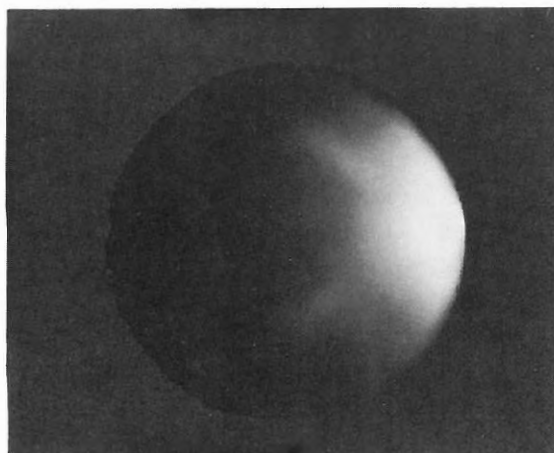
(光源偏角 2°)



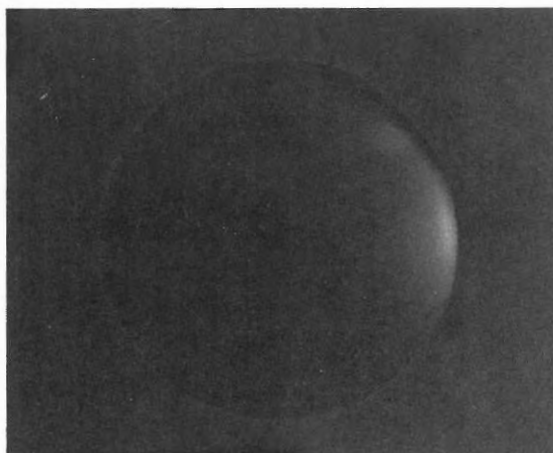
(光源偏角 5°)

19-a

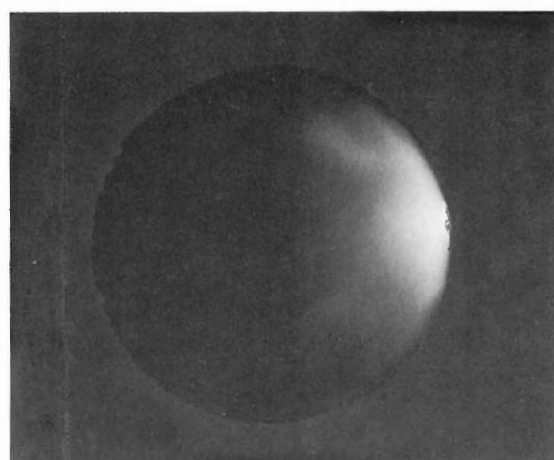
図-19 光源偏角による牛の眼球内迷走光の出現状態 (光源視角 1°)



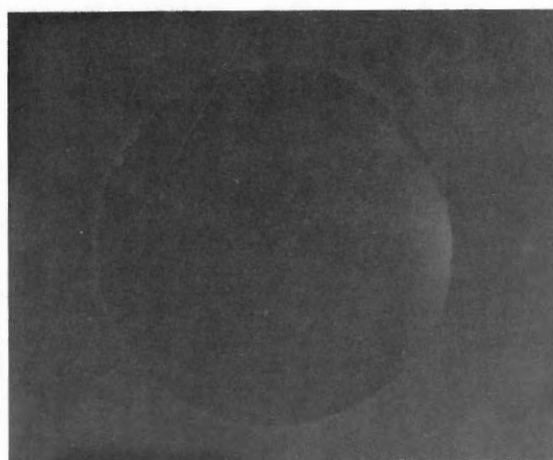
(光源偏角 6°)



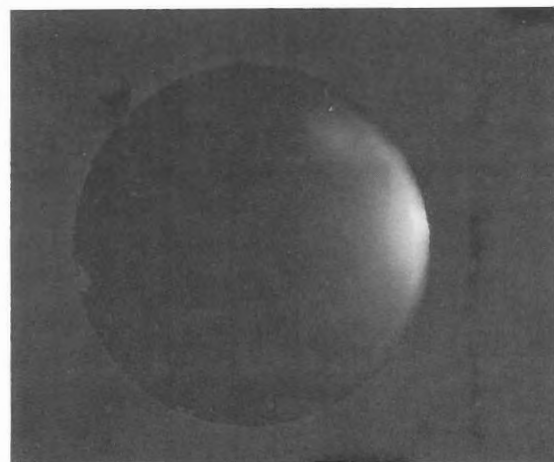
(光源偏角 9°)



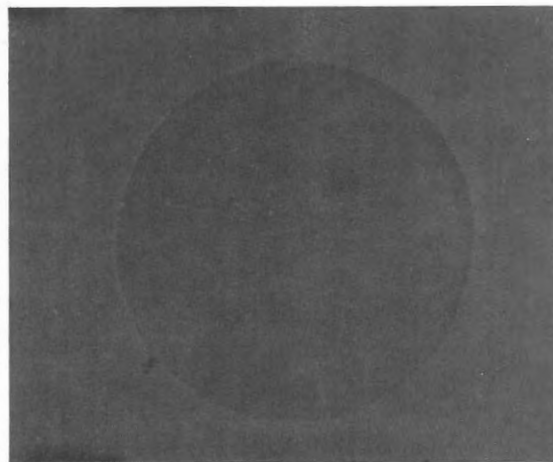
(光源偏角 7°)



(光源偏角 10°)



(光源偏角 8°)



(光源偏角 12°)

測定・研究に利用出来る。人間の眼球の光学系に近い特性をもつた擬似眼を造ることが可能とわかった。(図-11)

- 5) 瞳孔が絞られた場合、眼の光学系の周辺部を通過した光が遮断されるため、眼球迷走光は著しく減少する。(図-8、図-17)
- 6) 光源の大きさが眼球迷走光に与える影響は、光源を視角 1° の大きさに細分化し、その各部分に視角 1° の光源で得た眼球迷走光量をあてはめて加算すると実測値とはほぼ一致することから、光源の各部分によって起こされた眼球迷走光を合算することによって求められる。
- 7) 眼球中心窩照度比を求める実験式として次式が得られた。

$$\theta > 1^\circ \quad E\theta/E_0 = \exp\{(-\ln\theta)^3 - 0.25\} + 0.032\theta^{-1.8}$$

$$\theta \leq 1^\circ \quad E\theta/E_0 = \exp(-0.17\theta)$$

参考までに、網膜中心窩に開けた穴から見たときの、牛の眼球における光源偏角に伴う光の変化状態を図-19a～図-19bに示す。

稿を終るに当たり、牛の眼球を提供して下さった大阪市食肉市場の関係者の皆様に心から感謝致します。また御指導、御校閲して戴いた大阪市立大学大志野章教授、御教示・御援助戴いた大阪市立大学眼科学教室の松山道郎教授、大阪大学伊藤克三教授・京都大学松浦邦男教授はじめ建築学会近畿支部環境工学委員会光分科会の諸先生方、大阪市立大学住居機構学研究室の諸先生方に深甚なる謝意を表します。

文 献

- 1) 伊藤・中根他：等視力曲線に関する実験(1)，(2)，建築学会近畿支部研究報告集，昭和42，4
伊藤・中根他：明視照明のための基礎実験，建築学会論文報告集，号外，昭和42，10
伊藤・中根：不均一な背景輝度が見易さに及ぼす影響について(1)，建築学会学術講演梗概集，昭和44，8
伊藤・中根：不均一な背景輝度が見易さに及ぼす影響について(2)，建築学会学術講演梗概集，昭和46，11
中根・伊藤：明視照明のための標準等視力曲線に関する研究，建築学会論文報告集，Vol.229，昭和50，3
中根芳一：印刷文字の見易さ及び適正照度に関する研究，建築学会論文報告集，Vol.229，昭和50，3
- 2) R.M.BOYNTON他：Physical Measures of Stray Light in Excised Eyes, J. Opt. Soc. America, Vol.44, 1954, 11
- 3) 照明学会編：新編照明のデータブック，オーム社，昭和43，11
- 4) R.M.BOYNTON他：Physical Measures of Stray Light in Excised Eyes, J. Opt. Soc. America, Vol.44, 1954, 11
- 5) R.M.BOYNTON他：Physical Measures of Stray Light in Excised Eyes, J. Opt. Soc. America, Vol.44, 1954, 11
G. A. Fry他：J Opt. Soc. America, Vol.43, 1953, 3

Summary

By using steers eyes, which are similar in optical characteristics to human eyes, we have measured the stray light in them. (see table 1). The results are as follows:

1. The effect of lapse of time after the steers eyes are taken out is negligible, if it is within 10 hours. (See Figs.5-6)
2. The quantity of stray light grows greater as the light source moves nearer to a point on the visual line, especially when the light source is within 10° (degree) of the visual point. (see Fig.7)
3. The causes of the stray light are: (1) optical defects of eyes when the light source is within 10° of the visual point; (2) diffusion of light on the surface of the cornea when the angle stated in (1) is more than 10° .
4. The smaller the iris grows, the smaller the quantity of stray light. (See Fig.8 and Fig.17)
5. When the light source is comparatively large, divide it into 1° units, and the total sum of the quantity of the units is almost equal to that of the quantity of the original light source. (see Fig.14)
6. In order to obtain the ratio of $E\theta$ to E_0 , the following equations are used:

$$\theta > 1^\circ \quad E\theta/E_0 = \exp\{(-\ln\theta)^3 - 0.25\} + 0.032\theta^{-1.8}$$

$$\theta \leq 1^\circ \quad E\theta/E_0 = \exp(-0.17\theta)$$

E_0 : Illuminance of fovea when the light source is on the visual line.

$E\theta$: Illuminance of fovea when the light source deviates by θ from the visual line.